УДК 004.75

Є.В. Тимошенко
Бердянський державний педагогічний університет, м. Бердянськ, Україна
Україна, 71101, Запорізька обл., м. Бердянськ, вул. Шмидта, 4

Адаптивна модель оперативного планування завдань комп'ютерних кластерів системи *Grid*

Y.V. Tymoshenko
Berdyansk State Pedagogical University, c. Berdyansk
Ukraine, 71101, Zaporozhye region, c. Berdiansk, Schmidt st., 4

Adaptive Model for Operational Planning Tasks of Grid Computing Clusters

Е.В. Тимошенко
Бердянский государственный педагогический университет, г. Бердянск, Украина
Украина, 71101, Запорожская обл., г. Бердянск, ул. Шмидта, 4

Адаптивная модель оперативного планирования заданий компьютерных кластеров системы *Grid*

У статті розглядається проблема підвищення ефективності використання комп'ютерних кластерів із поділюваними ресурсами в структурі глобальної інформаційної *Grid*-системи. Запропоновано адаптивну модель системи управління пакетною обробкою завдань кластера при відчуженні його обчислювальних ресурсів в умовах наявності двох конкуруючих потоків вхідних даних.
Ключові слова: адаптивна модель, дискретна оптимізація, розподілені обчислення, комп'ютерний кластер, система *Grid*.

The article is devoted to the problem of increase of efficiency of use of computer clusters with shared resources in the structure of the global informational Grid System. It is proposed the adaptive model for control system of batch job processing of a cluster at alienation of its computing resources in conditions of presence of two competing flow of the entrance data.
Key Words: adaptive model, discrete optimization, distributed computing, computer cluster, Grid System.

В статье рассматривается проблема повышения эффективности использования компьютерных кластеров с разделяемыми ресурсами в структуре глобальной информационной *Grid*-системы. Предложена адаптивная модель системы управления пакетной обработкой заданий кластера при отчуждении его вычислительных ресурсов в условиях наличия двух конкурирующих потоков входных данных.
Ключевые слова: адаптивная модель, дискретная оптимизация, распределенные вычисления, компьютерный кластер, система *Grid*.

Постановка проблеми та її зв'язок з практичними завданнями

Мережна технологія *Grid* дозволяє створити потужний інструмент обробки інформації для наукової, виробничої та комерційної сфер. Побудова національної інфраструктури *Grid* сприятиме інтеграції України у Європейський науковий простір та вирішенню наступних завдань: обслуговування Українського міжнародного центру даних та надання

доступу до наукової інформації, використання потужних комп’ютерних ресурсів й експериментальних установок; об’єднання наукової та освітньої обчислювальної й комунікаційної інфраструктури в національну *Grid*, а також підключення її до Європейської *Grid*-інфраструктури; вирішення виробничих, інженерних та бізнесових задач розвитку мережного транспортного середовища, технологій високошвидкісної передачі даних шляхом використання обчислювальних ресурсів комп’ютерних кластерів, що належать окремим організаціям.

Аналіз попередніх досліджень та виділення невирішених питань

Головні ідеологи *Grid I. Foster* та *C. Kesselman* дають цій технології таке визначення [1]: «Обчислювальна *Grid* – це апаратна й програмна інфраструктура, що забезпечує надійний, погоджений, всепроникаючий та недорогий доступ до високопродуктивних обчислювальних ресурсів». Пізніше [2] визначення *Grid* було наближене до соціальних аспектів та можливості створення домовленості про використання спільних ресурсів серед учасників (споживачів й постачальників) та використання результуючого об’єднання ресурсів для певних цілей. Під ресурсами спільного доступу розуміється не стільки обмін файлами, а скоріше безпосередній доступ до комп’ютерів, програмного забезпечення та даних при спільному рішенні проблем у науці, промисловості й бізнесі.

Існує декілька типів *Grid*-систем, всі вони надають ресурси, але кожна оптимізована під різні функції: розв’язання рівнянь, візуальне моделювання при колективному проектуванні, зберігання масивів даних і т.п. [3]. Запропоновані для вирішення великомасштабних обчислювальних завдань в науці, техніці та бізнесі глобальні обчислювальні мережі *Grid* відкривають перспективу одночасного використання тисяч приналежних різним організаціям обчислювальних ресурсів, розташованих у різних адміністративних і географічних областях [4], [5]. Одним з видів ресурсів *Grid* є комп’ютерні кластери – група об’єднаних високошвидкісними каналами зв’язку комп’ютерів (обчислювальних вузлів кластера), що представляє з точки зору користувача єдиний апаратний ресурс.

При цьому, розподіляючи ресурси *Grid*-системи, виникає необхідність як визначення мінімального числа кластерів, на яких може бути виконана задана підмножина завдань, так і оптимального розподілу цих завдань усередині самих кластерів між його обчислювальними вузлами. Такий підхід вимагає використання дворівневої структури *Grid*. На першому рівні декілька незалежних брокерів розподіляють обчислювальні завдання на кластери, а на другому рівні кожен кластер розподіляє завдання, привласнені йому локальним планувальником.

Диспетчеризація завдань у кластері *Grid* буває централізованою, децентралізованою, ієрархічною. При цьому можуть застосовуватися підходи із попереджувальним розподілом, використанням пріоритетів завдань та прийняттям угод в системі диспетчеризації [6].

Важливою особливістю функціонування кластерів систем *Grid* є наявність двох вхідних потоків інформаційно-розрахункових завдань (ІРЗ). Перший потік містить чергу локальних завдань кластера, а другий складається із завдань від глобальної інфраструктури *Grid* (рис. 1).

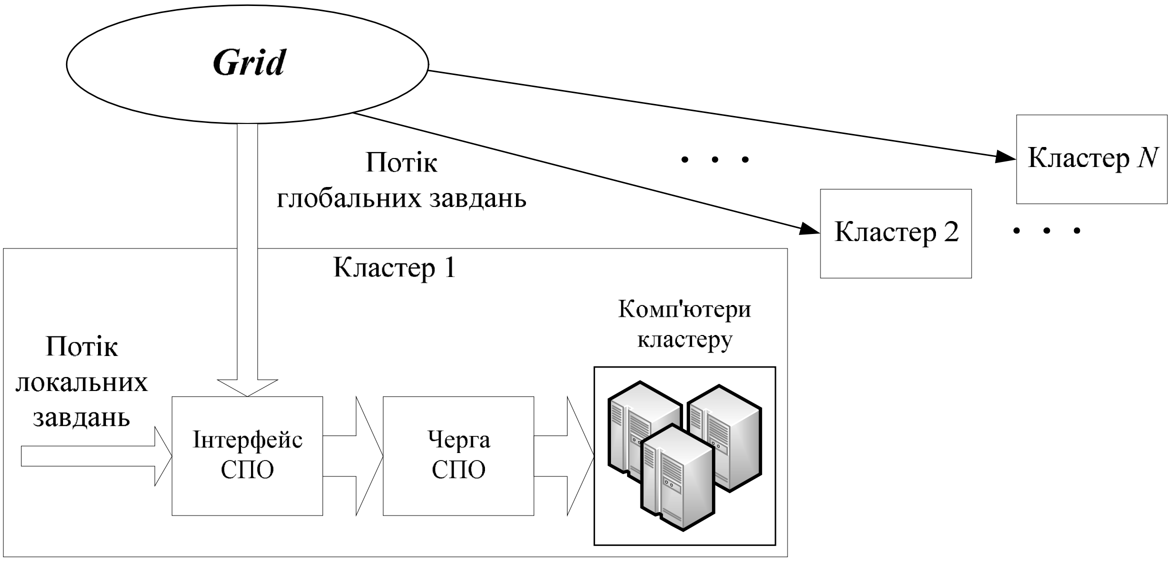


Рисунок 1 – Система пакетної обробки потоків завдань у кластеризованій *Grid*

Обидва потоки, надходячи через інтерфейс системи пакетної обробки (СПО) завдань кластера, формують загальний потік (чергу) ІРЗ, що розподіляються по обчислювальним вузлам комп'ютерного кластера. При цьому виникає конкурування локального та глобального потоків завдань за пріоритет володіння ресурсами кластера. В результаті чого систематично коїться відчуження обчислювальних ресурсів кластера системою *Grid*, а також їхня відмова (через внутрішні причини або перевантаження) – в обох випадках стабільна робота кластера порушується.

Метою даної статті є розробка адаптивної моделі оперативного перерозподілу завдань комп'ютерного кластера з двома конкуруючими потоками вхідних даних в умовах деградації або відчуження його обчислювальних ресурсів, з метою досягнення максимального відновлення його функціональної потужності.

Особливості функціонування комп'ютерних кластерів в системах *Grid*

Динамічне управління потоками інформації при взаємодії процесів користувачів *Grid*-системи, пов'язане із вирішенням оптимізаційних задач розподілу ІРЗ по кластерах *Grid* та їхнім обчислювальним вузлам. Цей процес повинен здійснюватися в масштабі реального часу, з визначеним періодом відновлення інформації в обчислювальній мережі [7].

У комп'ютерних системах час, що відводиться на обслуговування запитів із черги, не повинен перевищувати допустимого значення $T_д$. Тому вирішення задачі обслуговування запитів, що забезпечує максимальне використання ресурсів, має відбутися із визначеною оперативністю. Оперативність вирішення задачі динамічного управління *Grid*-кластером за час, що не перевищує допустиме $T_д$, кількісно оцінюється ймовірністю $P(T)$-обробки необхідного комплексу ІРЗ за час T [8]

$$P(T) = 1 - e^{-\frac{T_Д}{T}}, \quad (1)$$

де $T_д$ – допустимий час, обробки комплексу завдань СПО-кластера; T – час виконання обробки комплексу ІРЗ.

Взаємодія *Grid*-системи із кластером має дискретно-подійний характер. Через це на вході системи утворюється черга та новий запит, що надходить, не приймається до обслуговування. Тому потрібна розробка системи управління кластером, яка б мала достатню швидкість оптимального розподілу завдань, щоб працювати у реальному масштабі часу, та забезпечувала одночасний доступ до всіх вільних на цей момент обчислювальних ресурсів. Для цього запропоновано використати метод групової вибірки. Створена на його основі система управління здатна забезпечити ефективне обслуговування кластером одночасно декількох ІРЗ із черги. Завдання, що вимагають ресурсів різних типів, вибираються таким чином, щоб сума їхніх пріоритетів була максимальною. При рівності пріоритетів перевага віддається завданню, що надійшло в чергу раніше. Забезпечення живучості кластера *Grid*-системи вимагає створення моделі його функціонування при наявності двох конкуруючих за обчислювальний ресурс потоків ІРЗ.

Забезпечення адаптивного відмовостійкого планування завдань в комп'ютерних кластерах *Grid*-систем

Вихідними даними для вирішення задачі розподілу завдань у системі є функції, що виконуються системою та можуть бути формалізовані у вигляді сукупності розв'язуваних завдань. Для кожного із завдань можуть бути задані варіанти його вирішення, яке може складатися з декількох етапів. Зв'язки між завданнями та етапами вирішення задаються у вигляді графа, ребра якого характеризують шляхи між етапами вирішення завдань, та відповідають напрямкам інформаційних потоків. Крім цього, задається множина ресурсів системи та зв'язків між ними, а також види технічних засобів, що використовуються в ній. Потрібно таким чином розподілити завдання по ресурсах та рівнях системи, щоб максимізувати ефект від їхнього виконання. Часові обмеження для різних завдань вимагають аналіз роботи різних ресурсів системи.

Припустимо обчислювальна система (рис. 2) складається із M типів ресурсів R_i, $i=\overline{1,M}$. До системи мають доступ N клієнтів O_j, $j=\overline{1,N}$, які формують завдання для виконання в системі.

Кожне завдання $З_k$ від будь-якого клієнта O_j має свій пріоритет β_k, залежний від рівня привілеїв клієнта. Момент, в який від клієнта надходить завдання – величина випадкова, а при високій інтенсивності надходження завдань на вході системи утвориться їхня черга. Основним критерієм оптимізації, що застосовується при цьому, є коефіцієнт використання ресурсів $K_{\text{ВР}}$. Він характеризує розмір частини загальної кількості ресурсів, до яких звертаються завдання із черги.

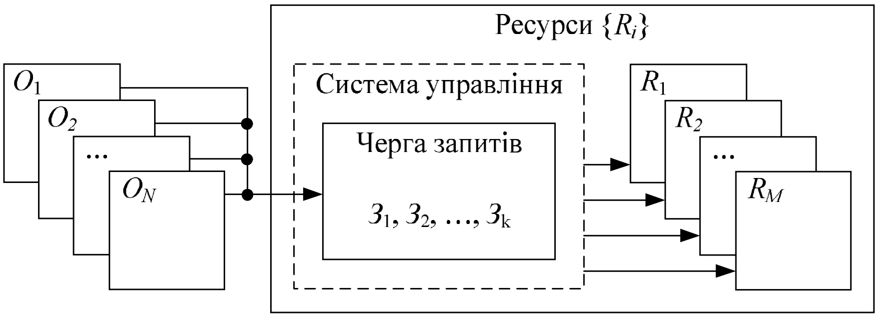


Рисунок 2 – Схема обробки завдань

Якщо жоден ресурс кластера не використаний, то $K_{\text{ВР}} = 0$, а якщо задіяні усі ресурси, то $K_{\text{ВР}} = 1$. Зрозуміло, що не завжди є можливість вибрати такі завдання, щоб всі ресурси кластера були залучені.

Для підвищення ефективності планування розподілу завдань у кластері пропонується задача оптимізації наступного виду

$$E = \sum_{p=1}^{N} \beta_p x_p \to \max , \qquad (2)$$

$$\sum_{k=1}^{p} A_{kg} x_k \le B_g , \; g = \overline{1, M} , \qquad (3)$$

де A_{kg} – дорівнює 1, якщо $З_k$ використовує ресурс R_g,, та 0, якщо ні; B_g – кількість ресурсів типу g.

Показник (2) можна розглядати як функціональну потужність кластера, що характеризує сумарну важливість завдань, виконуваних в ньому, та від якого прямо пропорційно залежить коефіцієнт використання ресурсів

$$K_{BP} = \frac{E}{\sum_{i=1}^{M} Y_i} , \qquad (4)$$

де Y_i – максимальний пріоритет завдань, що звертаються до ресурсу R_i.

Модель (2), (3) будемо називати однопотоковою моделлю обслуговування завдань. В загальному випадку множини завдань, що надходять у чергу на вирішення, можна розбити на дві підмножини, а саме на підмножину завдань *Grid*- мережі $\{З_i^G\}$ та підмножину задач $\{З_i^B\}$, що розв'язуються в інтересах власника кластера. Кожне *p*-е завдання відповідно до політик ціноутворення центрів сертифікації *Grid*-завдань та власників кластерів має коефіцієнт важливості β_p, а тому кожній підмножині задач у черзі відповідають сумарні коефіцієнти їхньої важливості $E_Ч^G$ та $E_Ч^B$. Надалі розрізнятимемо значення сумарних коефіцієнтів важливості завдань, що знаходяться в черзі $E_Ч^G$, $E_Ч^B$, та сумарні коефіцієнти важливості задач, що плануються для виконання E^G и E^B. Якщо $E_Ч^G \approx E_Ч^B$, то економічні втрати від затримок виконання завдань $З_p^G \in \{З_i^G\}$ та $З_p^B \in \{З_i^B\}$ будуть однакові, а тому доцільно використовувати розглянуту однопотокову модель обслуговування завдань. Коли $E_Ч^G >> E_Ч^B$, то економічні втрати будуть більше залежати від затримок виконання завдань $З_i^G$, а при $E_Ч^G << E_Ч^B$ – від затримок виконання завдань $З_i^B$. Тому процес планування виконання завдань, що надходять у чергу, має бути адаптивним до сумарних цін, що змінюються, та реалізовуватися на основі двохпотокової моделі. Припустимо, що виконується нерівність $E_Ч^G >> E_Ч^B$, тоді виділяємо підмножину завдань $\{З_i^G\}^/$, що утворюють $\triangle E = E_Ч^G - E_Ч^B$, та визначаємо не зайняті завданнями *Grid* ресурси, на яких вони можуть бути розв'язані. Знімаємо із цих ресурсів завдання $\{З_i^B\}^/ \in \{З_i^G\}$. Потім одночасно вирішуються дві задачі планування розподілу завдань $\{З_i^G\}^/$ та $\{З_i^B\}^/$ на основі однопотокових моделей для множин, що не перетинаються, ресурсів, які можна використовувати при виконанні кожної підмножини завдань. Через те, що частина ресурсів відчужується для вирішення завдань $\{З_i^B\}^/$, показник E^B деградує на величину $\triangle E^B$, але потім за рахунок перерозподілу завдань на підмножині доступних ресурсів відновлюється на величину $\triangle E$. По мірі звільнення ресурсів в підмножині, що обслуговувала завдання $\{З_i^G\}^/$, завдяки перерозподілу завдань показник E^B системи вертається до номінального значення, як це вказано на рис. 3.

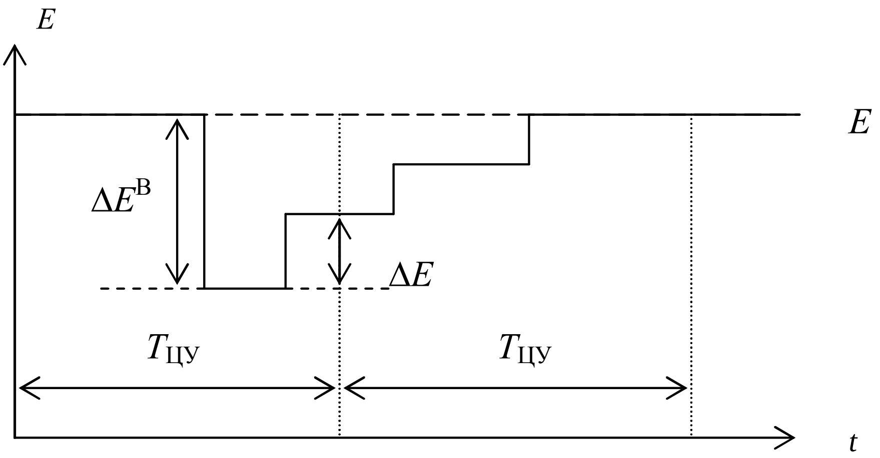


Рисунок 3 – Діаграма функціонування системи

У випадку, коли виконується нерівність $E_{Ч}^{G} << E_{Ч}^{B}$, модель працює аналогічно, але відчужуються ресурси для завдань $\{З_i^G\}$. Таким чином, у двохпотоковій моделі ресурси надаються тому потоку, для якого штрафні санкції можна істотно знизити та при цьому для другого потоку, за рахунок перерозподілу завдань, економічні втрати теж мінімізуються. Після того, як за рахунок роботи двохпотокової моделі значення показників $E_{Ч}^{G}$ та $E_{Ч}^{B}$ вирівняються, управління повертається до однопотокової моделі із загальним полем ресурсів. Таким чином, у процесі роботи кластера в циклі здійснюється перехід між однопотоковою та двохпотоковою моделями (рис. 4).

Слід зазначити, що визначення $E_{Ч}^{G} \approx E_{Ч}^{B}$ має здійснюватися на основі розроблених економічних політик власників сертифікаційних центрів *Grid* та власників кластерів. При цьому повинно бути одержано деяке компромісне номінальне значення показника $E_{\text{Н}}$, яке може відхилятися на деяку величину δ (призначає адміністратор кластера) у позитивну або негативну сторони. Обґрунтування величин $E_{\text{Н}}$ та δ виходить за рамки даної роботи, оскільки її метою є автоматизація процесу розподілу завдань у кластерах *Grid*-систем.

Розходження показників $E_{Ч}^{G}$ та $E_{Ч}^{B}$ може бути також обумовлено виходом з ладу ресурсів кластера та поверненням не виконаних завдань у чергу, що теж приводить до схеми планування, наведеної на рис. 4 Основними показниками ефективності функціонування кластера при цьому є оперативність виконання планування та коефіцієнт використання ресурсів на етапах роботи однопотокової моделі, а також оперативність виконання планування та коефіцієнт збереження ефективності на етапах роботи двохпотокової моделі.

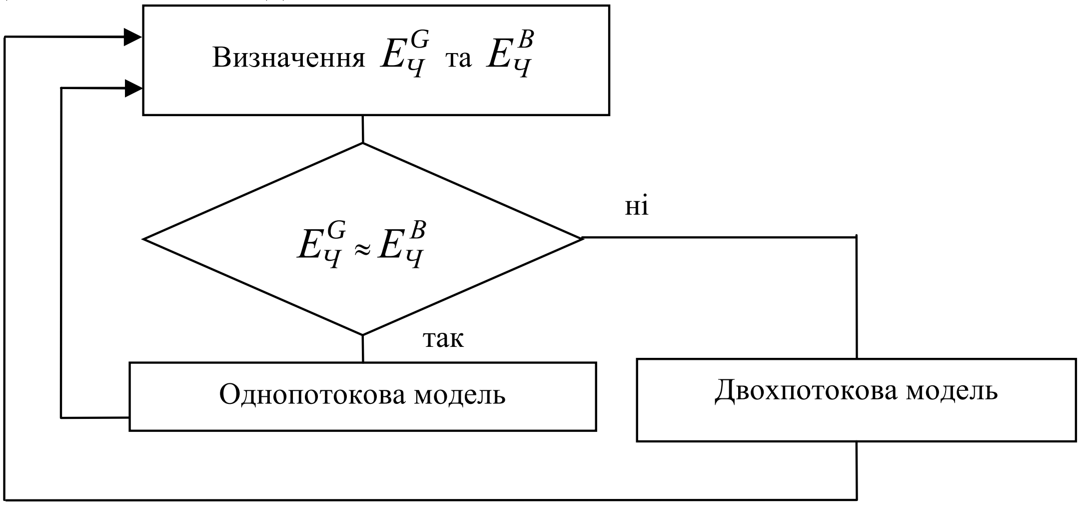


Рисунок 4 – Цикл роботи моделей планування в кластері

Висновки і перспективи подальших досліджень

Отже, задача перерозподілу завдань в кластері зводиться до багатократного вирішення задачі цілочислового лінійного програмування з булевими змінними. Причому потужність процедури, що його реалізує, має дозволяти розв'язувати цю задачу у масштабі реального часу в умовах функціональної відмови окремих обчислювальних елементів та конкурування основного потоку завдань кластера з потоком завдань *Grid*-системи. За підсумками вирішення поставленого завдання на основі теоретичних досліджень та комп'ютерного моделювання зроблені наступні висновки:

– запропонована модель дозволяє обслуговувати пакети завдань комп'ютерного кластера, за допустимий час забезпечуючи планування з урахуванням динаміки взаємодії потоку завдань *Grid* із потоком власних завдань кластера;

– створена модель функціонування кластера *Grid*-системи дозволяє враховувати коефіцієнт використання ресурсів, функціональну потужність системи та показник оперативності планування ресурсів, що дозволяє дослідити роботу кластера в умовах конкурування потоків завдань та відчуження обчислювальних ресурсів;

– експериментально доведено, що застосування моделі дозволяє: зберігати в середньому до 62,93% функціональної ефективності кластера у випадку видалення частини його обчислювальних ресурсів; з високою оперативністю (P(T)>0,9) адоптивно розподіляти конкуруючі потоки ІРЗ, враховуючи їхню важливість та стан обчислювальних ресурсів кластера; забезпечити вибірку залежно від використовуваної планувальником СПО-процедури, від 160 ($T_д$ = 5 с) до 260 ($T_д$ = = 20 с) або від 215 ($T_д$ = 5 с) до 355 ($T_д$ = 20 с) пакетів ІРЗ.

З огляду на отримані в ході дослідження результати можна сподіватись на перспективність інтеграції розробленої адаптивної моделі оперативного планування розподілу ІРЗ або окремих процедур її програмного забезпечення в структуру СПО-кластерів системи *Grid*. Однак, остаточне твердження про ступінь ефективності запропонованої моделі потребує подальших, більш ґрунтовних та масштабніших, досліджень.

Література

1. Foster I. The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations / I. Foster, C. Kesselman, S. Tuecke // International Journal of High Performance Computing Applications. – 2000. – Vol. 15, № 3. – P. 200-222.
2. Foster I. The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure / I. Foster, C. Kesselman. – 2nd Edition. – San Francisco, Calif. : Morgan Kaufmann, 2004. – 748 p.
3. Foster I. Grid Services for Distributed Systems Integration / I. Foster, C. Kesselman, J.M. Nick, S. Tuecke // IEEE Computer. – 2002. – № 6. – P. 37-46.
4. Foster I. What Is The Grid? A Three Point Checklist [Електронний ресурс] / I. Foster // Argonne National Laboratory & University of Chicago, Grid Today. – 2002. – Vol. 1, № 6. – P. 32-36. – Режим доступу : Available from: http://www.gridtoday.com/02/0722/100136.html.
5. Структура и проблемы развития программного обеспечения среды распределенных вычислений Грид / [Коваленко В.Н., Коваленко Е.И., Коряги Д.А и др.]. – М. : ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 2002. – 23 с. – (Препринт / РАН, ИПМ им. М.В. Келдыша ; 02-1).
6. Коваленко В.Н. Оценка возможностей программных платформ Грид / В.Н. Коваленко, Д.А. Коряги // Распределенные вычисления и Грид-технологии в науке и образовании : труды международной конференции (Дубна, 29 июня – 2 июля 2004 г.). – Дубна : 11-2004-205, ОИЯИ, 2004. – С. 128-133.
7. Зиновьев Э.В. Методы управления сетевыми информационными системами / Э.В. Зиновьев, А.А. Стрекалев. – Рига : Зинатне, 1991. – 308 с.
8. Костров Б.В. Телекоммуникационные системы и вычислительные сети : [учебное пособие] / Костров Б.В. – М. : ТЕХБУК, 2006. – 256 с.

Literatura

1. Foster I. International Journal of High Performance Computing Applications. 2000. Vol. 15. № 3. P. 200-222.
2. Foster I. The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure. San Francisco. Calif.: Morgan Kaufmann. 2004. 748 p.
3. Foster I. IEEE Computer. 2002. № 6. P. 37-46.
4. Foster I. Argonne National Laboratory & University of Chicago. Grid Today. 2002. Vol. 1. № 6. P. 32-36. Available from: http://www.gridtoday.com/02/0722/100136.html.
5. Kovalenko V.N. Struktura i problemy razvitija programmnogo obespechenija sredy raspredelennyh vychislenij Grid. M.: IPM im. M.V. Keldysha RAN. 2002. 23 s.
6. Kovalenko V. N. Trudy mezhdunarodnoj konferencii "Raspredelennye vychislenija i Grid-tehnologii v nauke i obrazovanii". (Dubna, 29 ijunja - 2 ijulja 2004 g.). Dubna: 11-2004-205. OIJaI. 2004. S. 128-133.
7. Zinov'ev Je.V. Metody upravlenija setevymi informacionnymi sistemami. Riga: Zinatne, 1991. 308 s.
8. Kostrov B. V. Telekommunikacionnye sistemy i vychislitel'nye seti: Uchebnoe posobie. M.: TEHBUK. 2006. 256 s.

Y.V. Tymoshenko

Adaptive Model for Operational Planning Tasks of Grid Computing Clusters

The article considers the current scientific and practical task of developing an adaptive model of rapid distribution of information and computational tasks in the computer clusters of Grid. The analysis of the functioning of the computer clusters based on the Grid technology is made and the choice of the main criteria for their performance is proved. General scientific challenge is to develop a model of the distribution of tasks in clusters of Grid Systems.

The peculiarity of functioning clusters of the Grid Systems is the presence of local and global input streams of tasks, which compete for computing resources. Alienation of these resources by the Grid System complicates the work of the cluster. Operational redistribution of the local tasks to working modules of the Grid cluster is getting necessary. It provides a maximum of its functional capacity. For this purpose, based on the method of group selection, the model management of the system is made, that let process multiple task package simultaneously. Adaptive planning takes into account the presence of two competing models of flow tasks. Effectiveness indices of the cluster are planning efficiency and utilization of resources in single-threaded and double-threaten modes model. Redistribution of tasks in a cluster is made by cyclic solution of task for linear programming with the Boolean variables. Power of this procedure allows to solve the problem in real time and in competing mainstream tasks cluster of flow of Grid tasks. The experiment showed that the use of models allows: to save an average of 62.93% of the functional efficiency of the cluster by removing part of its computing resources; adaptively to allocate competing flows tasks high-speed (P (T)> 0.9), taking into account their importance and status of cluster computing resources; to provide selection depending on the scheduler procedure, from 160 (T_D = 5 s) to 260 (T_D = 20 s) or 215 (T_D = 5 s) to 355 (T_D = 20 s) package tasks.

The results, which were obtained in the theoretical studies and computer modeling, give promise for implementation of the developed adaptive model of operational planning of tasks distribution or for integration of some procedures of its software to the structure of the Grid clusters.

Стаття надійшла до редакції 08.05.2012.